

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Měření na synchronním generátoru malého výkonu**  
**Measurement of Low Voltage Synchronous**  
**Generator**



## Zadání bakalářské práce

Student: **Antonín Šamaj**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Měření na synchronním generátoru malého výkonu**  
**Measurement of Low Voltage Synchronous Generator**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Základní popis a princip činnosti synchronních generátorů
3. Proved'te typová měření na vybraném vzorku SG malého výkonu
4. Vyhodnocení naměřených hodnot
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

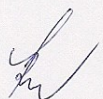
- KOPYLOV, Igor, Petrovič. Stavba elektrických strojů, 1988, Praha, SNTL/MIR
- CIGÁNEK, Ladislav. Stavba elektrických strojů, Praha, 1958, SNTL
- GIERAS, F., Jacek. Permanent magnet Motor Technology, New York, Marcel Dekker, Inc., 2002
- KAČOR, Petr. Vybrané typy elektrických strojů, Ostrava, 2010, VŠB-TU Ostrava
- Katalogy a katalogové listy
- Odborné a technické www stránky
- Technické normy

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

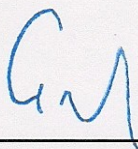
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Kačor, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty



## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 7.5.2013

.....  
Šamaj

# **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Kačorovni Ph.D. za poskytnuté informace a rady. Dál bych chtěl poděkovat za ochotu a pomoc výběrem odborné literatury.

# **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na synchronní generátory. Hlavně, pak na axiální generátor malého výkonu, na kterém bylo provedeno měření. V bakalářské práci se dále píše o základech elektrických strojů, historii elektrických generátorů, turbogenerátorech, hydrogenerátorech, axiálních strojích a samotném měření s popisy měření. V měření byla měřena charakteristika naprázdno, nakrátko a pracovní charakteristiky. Jednotlivé průběhy byly vyneseny v grafech a porovnány.

# **Klíčová slova**

Elektrické stroje, historie generátorů, turbogenerátory, hydrogenerátory, axiální elektrické stroje, měření na generátoru, nakrátko, naprázdno, zatěžovací charakteristiky.

# **Abstract**

This bachelor work focuses on the synchronous generators. Mainly, then axial small-power generator, on which the measurements were taken. The bachelor work also writes about the basics of electrical machines, history of electrical generators, turbo generators, hydro generators, axial machines and measure with descriptions of measurement. The measurement was measured characterization no-load, short and working characteristics. Individual curves were plotted in graphs and compared.

# **Key words**

Electrical machinery, history generators, turbo generator, hydro generator, axial electric machines, measuring the generator, short, no-load, load characteristics.

# Seznam použitých symbolů a zkratek

t	Čas	s
l	Dálka vodiče	m
L	Délka	m
U	Elektrické napětí	V
R	Elektrický odpor	$\Omega$
I	Elektrický proud	A
f	Frekvence	Hz
H	Intenzita magnetického pole	$A \cdot m^{-1}$
k	Konstanta	
B	Magnetická indukce	T
$\Phi$	Magnetický tok	Wb
M	Moment	Nm
u	Okamžitá hodnota napětí	V
i	Okamžitá hodnota proudu	A
n	Otáčky	$Ot \cdot min^{-1}$
$\mu$	Permeabilita prostředí	$H \cdot m^{-1}$
S	Plocha	$m^2$
S'	Plocha kolmá ke směru indukčních čar	m
p	Počet pólových dvojic	
N	Počet závitů	
D	Průměr	m
P <sub>p</sub>	Příkon	W
$\Delta t$	Rozdíl času	s
$\Delta \Phi$	Rozdíl magnetického toku	Wb
v	Rychlost	$m \cdot s^{-1}$
W	Šířka	m
T	Tloušťka	m
$\eta$	Účinnost	-(%)
$\alpha$	Úhel	rad
$\omega$	Úhlová rychlost	$rad \cdot s^{-1}$
$\tau_p$	Velikost pólového nástavce	m
P	Výkon	W
VUT	Vysoké učení technické	
x	Vzdálenost	m
$\delta$	Vzduchová mezera	m

# Seznam obrázků

Obr. 2.1 Indukční zákon.....	2
Obr. 2.2 Směr a smysl intenzity magnetického pole přímého vodiče, kterým prochází proud .....	3
Obr. 2.3 Indukční čary na napájené cívice .....	3
Obr. 2.4 Vznik indukovaného napětí sinusového průběhu .....	4
Obr. 2.5 Princip tří fázového generátoru.....	4
Obr. 3.1 Pixiův generátor .....	5
Obr. 3.2 Hydrogenerátor z roku 1882 .....	5
Obr. 3.3 Turbogenerátor z roku 1907.....	5
Obr. 3.4 Interiér elektrárny s hydrogenerátory z roku 1912.....	6
Obr. 3.5 Historické dynamo Deutsche Elektrizitäts Werke Aachen .....	6
Obr. 4.1 Rotor v půdorysu.....	7
Obr. 4.2 Rotor turbogenerátoru bez vinutí .....	7
Obr. 4.3 Magnetické indukce ve vzduchové mezeře turbogenerátoru .....	8
Obr. 4.4 Generátor v Jaderné elektrárně Temelín od firmy BRUSH .....	9
Obr. 4.5 Stator generátoru v Temelínu.....	9
Obr. 4.6 Rotor před opravou .....	9
Obr. 4.7 Rotor po opravě.....	9
Obr. 5.1 Rotor hydrogenerátoru v půdorysu .....	10
Obr. 5.2 Strojovna s hydrogenerátory .....	10
Obr. 5.3 Pólový nástavec.....	11
Obr. 5.4 Generátor vyrobený firmou EXMONT.....	11
Obr. 6.1 Axiální generátor.....	12
Obr. 6.2 Axiální a radiální druh stroje .....	12
Obr. 6.3 Jednostranný axiální stroj s drážkovaným statorem .....	14
Obr. 6.4 Oboustranný axiální stroj s vnitřním statorem .....	14
Obr. 6.5 Oboustranný axiální stroj s vnitřním statorem a bez drážkovaného rotoru a bez železného jádra .....	15
Obr. 6.6 Oboustranný axiální stroj s vnitřním rotorem a drážkovaným statorem.....	15
Obr. 6.7 Oboustranný axiální stroj s vyniklými póly na statoru .....	15
Obr. 7.1 Axiální generátor s dvojím vnějším rotorem .....	16
Obr. 7.2 Měřicí pracoviště.....	17
Obr. 7.3 Měřicí přístroje.....	17
Obr. 7.4 Schéma měření naprázdno .....	18
Obr. 7.5 Schéma měření nakrátko.....	20
Obr. 7.6 Schéma měření zatěžovacích charakteristik.....	22

# Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry generátoru .....	9
Tabulka 2 Parametry generátoru SGH-803-10k63 .....	11
Tabulka 3 Parametry měřeného generátoru.....	16
Tabulka 4 Použité přístroje – měření naprázdno.....	18
Tabulka 5 Měření naprázdno - hodnoty .....	19
Tabulka 6 Použité přístroje – měření nakrátko .....	20
Tabulka 7 Měření nakrátko - hodnoty .....	20
Tabulka 8 Použité přístroje – měření zatěžovacích charakteristik .....	22
Tabulka 9 Měření při 1000ot/min .....	23
Tabulka 10 Měření při 1500ot/min .....	23
Tabulka 11 Měření při 2000ot/min .....	23
Tabulka 12 Měření při 2500ot/min .....	24
Tabulka 13 Měření při 3000ot/min .....	24



## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Základy elektrických strojů .....	2
2.1	Indukční zákon .....	2
2.1.1	Časová změna magnetického toku .....	2
2.1.2	Pohyb vodiče v magnetickém poli .....	3
2.2	Magnetické pole vodiče .....	3
2.3	Vznik střídavého sinusového napětí .....	4
2.3.1	Třífázové napětí sinusového průběhu .....	4
3	Generátory .....	5
3.1	Historie .....	5
3.2	Rozdělení generátorů .....	6
4	Turbogenerátory .....	7
4.1	Konstrukce .....	7
4.2	Frekvence a velikost generovaného napětí .....	7
4.3	Magnetická indukce ve vzduchové mezeře turbogenerátoru .....	8
4.4	Výrobce .....	8
4.4.1	Parametry generátoru od firmy BRUSH s.r.o. ....	9
5	Hydrogenerátory .....	10
5.1	Konstrukce .....	10
5.2	Frekvence a velikost generovaného napětí .....	10
5.3	Magnetická indukce ve vzduchové mezeře hydrogenerátoru .....	10
5.4	Výrobce .....	11
5.4.1	Parametry generátorů vyráběného v EXMONT-Energo a.s. ....	11
6	Axiální generátor s permanentními magnety .....	12
6.1	Rozdíl mezi axiálními a radiálními elektrickými stroji .....	12
6.2	Historie axiálních strojů .....	13
6.3	Konstrukce .....	13
7	Měření na generátoru .....	16
7.1	Konstrukce měřeného axiálního generátoru .....	16
7.3	Měřicí pracoviště .....	17
7.4	Měření naprázdno .....	18

7.4.1	Schéma zapojení.....	18
7.4.2	Použité přístroje.....	18
7.4.3	Postup měření.....	18
7.4.4	Naměřené hodnoty .....	19
7.4.5	Graf.....	19
7.4.6	Závěr.....	19
7.5	Měření nakrátko .....	19
7.5.1	Schéma zapojení.....	20
7.5.2	Použité přístroje.....	20
7.5.3	Postup měření.....	20
7.5.4	Naměřené hodnoty .....	20
7.5.5	Graf.....	21
7.5.6	Závěr.....	21
7.6	Měření zatěžovacích charakteristik .....	21
7.6.1	Schéma zapojení.....	22
7.6.2	Použité přístroje.....	22
7.6.3	Postup měření.....	22
7.6.4	Naměřené hodnoty .....	23
7.6.5	Příklady výpočtu .....	24
7.6.6	Grafy.....	25
7.6.7	Závěr.....	26
8	Závěr .....	27
9	Literatura .....	28

# **1 Úvod**

První kapitola pojednává o základech elektrických strojů a jejich základních zákonech, jako je indukční zákon, magnetické pole vodiče a vznik napětí.

V druhé kapitole se píše o generátorech, historii a základním rozdělení.

V dalších kapitolách jsou rozebrány základy turbogenerátor, hydrogenerátorů a axiálních strojů.

Poslední kapitola se zabývá konkrétním axiálním generátorem a měření na axiálním generátoru.

## 2 Základy elektrických strojů

### 2.1 Indukční zákon

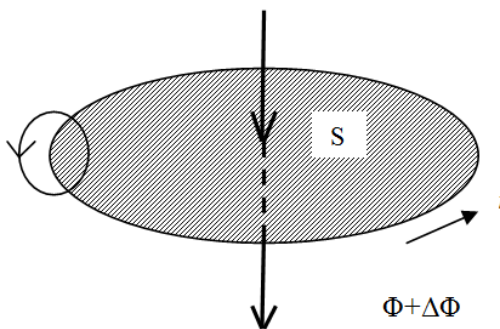
Nejdůležitějším fyzikálním jevem pro funkčnost všech elektrických strojů je elektromagnetická indukce. Ke vzniku elektromagnetické indukce je potřeba časová změna magnetického toku nebo pohyb vodiče v magnetickém pole. Oba případy způsobují, že indukují napětí ve vodiči nebo obvodu.

Tento jev je nazýván indukční zákon nebo také Faradayův zákon.

#### 2.1.1 Časová změna magnetického toku

Máme-li závit o ploše  $S$  umístěný v magnetickém toku  $\Phi$  a náhle zvětšíme nebo zmenšíme o  $\Delta\Phi$ , tak se bude v závitě indukovat proud  $i$ . Odpor vodiče a rychlost změny ovlivňují velikost okamžitého proudu.

$$i = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.1)$$



Obr. 2.1 Indukční zákon[13]

Směr indukovaného proudu v závitě působí proti měnící se síle magnetického toku.

Kolem vodiče vznikají indukční čáry magnetického pole. Jejich směr je dán Ampérovým pravidlem, viz obr. 2.1.

Budeme-li uvažovat i směr indukovaného proudu, s kterým jsem v rovnici nepočítalo, tak bude rovnice vypadat takto:

$$Ri = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (2.2)$$

Častěji se používá vztah:

$$u_i = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (2.3)$$

Pro cívku s  $N$  závitů platí:

$$u_i = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (2.4)$$

### 2.1.2 Pohyb vodiče v magnetickém poli

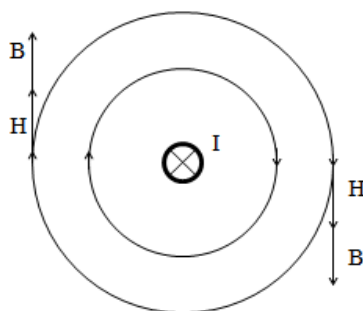
Častěji se v točivých strojích pohybuje vodič nebo obvod v magnetickém poli. Máme-li vodič o délce  $l$  ve stálém magnetickém poli s indukcí  $B$  a pohybujeme rychlostí  $v$ , tak platí vztah:

$$u_i = Blv \sin \alpha. \quad (2.5)$$

## 2.2 Magnetické pole vodiče

Magnetické pole vzniká kolem vodiče, kterým protéká proud. Magnetické pole působí na vodiče, kterými protékají proudy, feromagnetické předměty a na pohybující se nabitě částice. Indukovat proud ve vodiči může časově proměnné magnetické pole.

Stejnoseměrný proud generuje okolo vodiče magnetické pole směr a smysl je dán Ampérovým pravidlem pravé ruky, viz obr. 2.2.



Obr. 2.2 Směr a smysl intenzity magnetického pole přímého vodiče, kterým prochází proud [13]

Intenzita magnetického pole  $H$  a magnetická indukce  $B$  charakterizují magnetické pole a jsou propojeny vztahem:

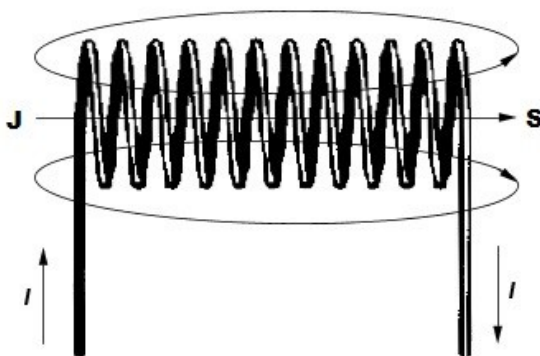
$$B = \mu H, \quad (2.6)$$

kde je  $\mu$ -permeabilita prostředí.

Magnetická indukce je hustota magnetického toku  $\Phi$ , která prostupuje určitou plochou. Vztah pro homogenní pole je:

$$B = \frac{\Phi}{S}, \quad (2.7)$$

kde je  $S$ - plocha kolmá ke směru indukčních čar.



Obr. 2.3 Indukční čary na napájené cívce [15]



## 2.3 Vznik střídavého sinusového napětí

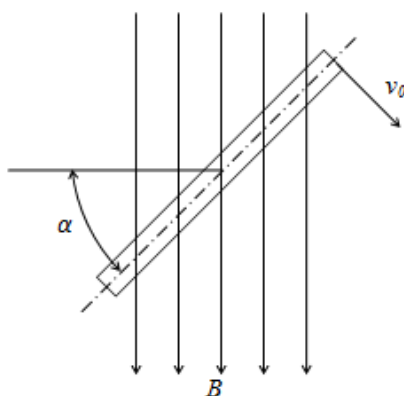
Otáčením závitu v magnetickém poli  $B$  rychlostí  $v_0$ , viz obr. 2.4, se na závitu začne indukovat okamžité napětí:

$$u_i = U_{max} \cdot \sin \alpha \quad (2.8)$$

kde  $U_{max} = Blv$ .

V elektronce se často nahrazuje úhel  $\alpha$ , nahrazuje za časový úhel  $\omega t$ . Platí pro ně vztah:

$$\alpha = \omega t. \quad (2.9)$$



Obr. 2.4 Vznik indukovaného napětí sinusového průběhu[13]

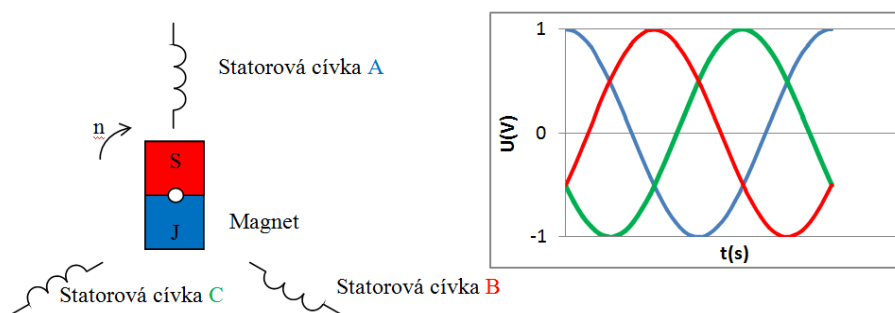
### 2.3.1 Třífázové napětí sinusového průběhu

Základní princip vychází z jednofázového, ale jako zdroj magnetického pole je zvolen permanentní magnet, který se otáčí kolem osy rychlostí  $v_0$  a dokola jsou rozmístěny cívky o  $120^\circ$ , na kterých se bude indukovat okamžité napětí dané vztahy:

$$u_{iA} = U_{max} \cdot \sin \omega t, \quad (2.10)$$

$$u_{iB} = U_{max} \cdot \sin \omega t + 120^\circ, \quad (2.11)$$

$$u_{iC} = U_{max} \cdot \sin \omega t - 120^\circ. \quad (2.12)$$



Obr. 2.5 Princip tří fázového generátoru[9]

[7 9 12 13]

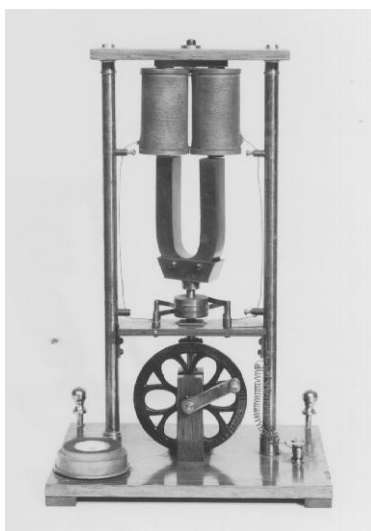
### 3 Generátory

Generátory patří do skupiny elektrických točivých strojů. Generátory mění mechanickou energii na elektrickou. Nejčastěji používané jsou synchronní generátory.

#### 3.1 Historie

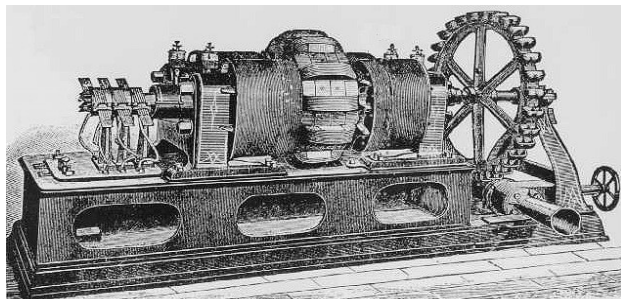
První generátor, který měnil mechanickou energii na elektrickou, byl vynalezen v roce 1831. Objevitelem byl Michael Faraday. Zjistil, že když pohyboval závitem přes magnet, tak magnetem protékal elektrický proud. První generátor se nazýval Faradayův disk, kde se měděný disk rotoval mezi póly magnetu a produkoval stejnosměrný proud.[1]

Francouzský výrobce nástrojů Hippolyte Pixii objevil první magnetoelektrický generátor. Na rozdíl od Faradaye se magnet pohyboval pomocí kliky, viz obr. 3.1. Tento generátor produkoval střídavý elektrický proud, ale Pixii byl schopený tento proud usměrnit pomocí komutátoru.[1]

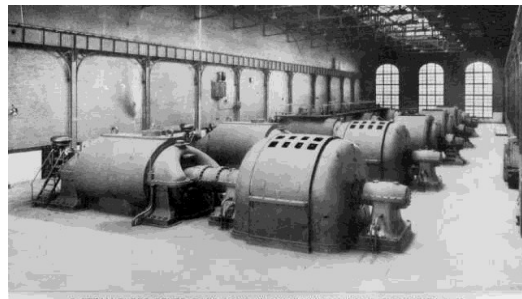


Obr. 3.1 Pixiův generátor[1]

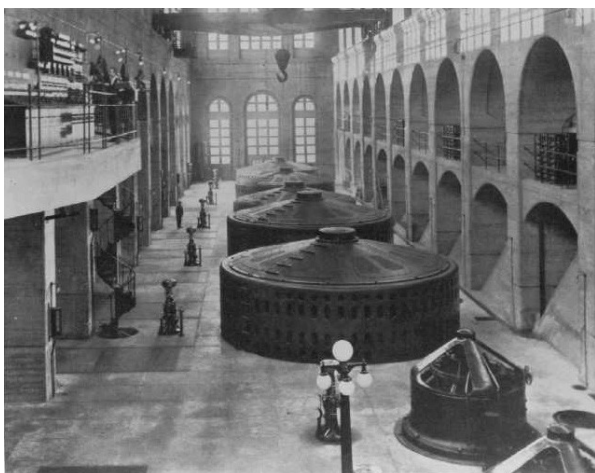
V roce 1873 bylo zjištěno, že generátor může fungovat i jako motor. Mění elektrickou energii na mechanickou. Dále byly motory a generátory vylepšovány a zmenšovány až do dnešní podoby.[1]



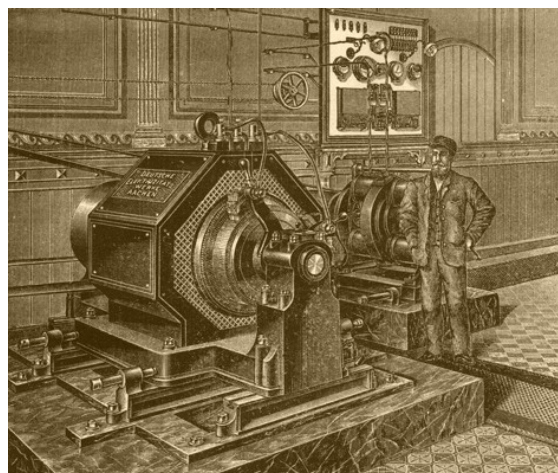
Obr. 3.2 Hydrogenerátor z roku 1882[1]



Obr. 3.3 Turbogenerátor z roku 1907[1]



Obr. 3.4 Interiér elektrárny s hydrogenerátory z roku 1912[1]



Obr. 3.5 Historické dynamo Deutsche Elektrizitäts Werke Aachen[10]

### 3.2 Rozdělení generátorů

Podle otáček

1. Synchronní – poháněcí zařízení se otáčí synchronními otáčky
2. Asynchronní – poháněcí zařízení musí mít větší otáčky než synchronní

Podle výstupního proudu

1. Alternátory – generátory střídavého proudu
2. Dynama- generátory stejnosměrného proudu

Podle konstrukce

1. Turbogenerátory – popsány v kapitole č. 4.
2. Hydrogenerátory – popsány v kapitole č. 5.
3. Asynchronní generátory
4. Axiální generátory – popsány v kapitole č. 6.

Podle počtu fází

1. Jednofázové generátory
2. Třífázové generátory
3. Více fázové generátory

## 4 Turbogenerátory

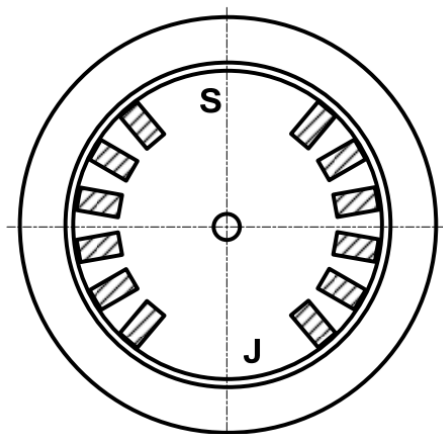
Patří do skupiny synchronních generátorů. Jsou to dvoupólové nebo čtyřpólové elektrické stroje. Pohaněné nejčastěji parní nebo plynovou turbínou. Vysokootáčkové generátory.

### 4.1 Konstrukce

Stroj je tvořen hladkým rotorem. Budicí vinutí je vloženo do drážek v rotoru a zajištěno klíny. 2/3 rotoru je tvořena drážky pro vinutí, viz obr. 4.1. Buzení statoru bývá stejnosměrným proudem. Rotor je vyroben z výkovku a plní funkci tlumícího či rozběhového vinutí. [12 13]

Statorové vinutí je ve většině případu trojfázové, ale bývají i jedno fázové a více fázové. Většinou je dvouvrstvé vinutí se zkráceným krokem uložené do otevřených drážek a spojené do hvězdy. [12 13]

Konstrukce jsou úzké, ale dlouhé.



Obr. 4.1 Rotor v půdorysu[9]



Obr. 4.2 Rotor turbogenerátoru bez vinutí[14]

### 4.2 Frekvence a velikost generovaného napětí

Generátor nepracuje žádným skluzem. Frekvence generovaného napětí závisí na počtu pólových dvojic a na otáčkách generátoru a je dána vztahem:

$$f = \frac{p \cdot n}{60}. \quad (4.1)$$

V jedné fázi se potom bude indukovat napětí dané vztahem:

$$U_{1f} = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot k_{v1} \cdot \Phi, \quad (4.2)$$

kde platí

$N_1$  – počet závitu jedné fáze

$k_{v1}$  – činitel vinutí statoru

$f_1$  – kmitočet

$\Phi$  – magnetický tok v rozmezí jedné pólové rozteče [7]

### 4.3 Magnetická indukce ve vzduchové mezeře turbogenerátoru

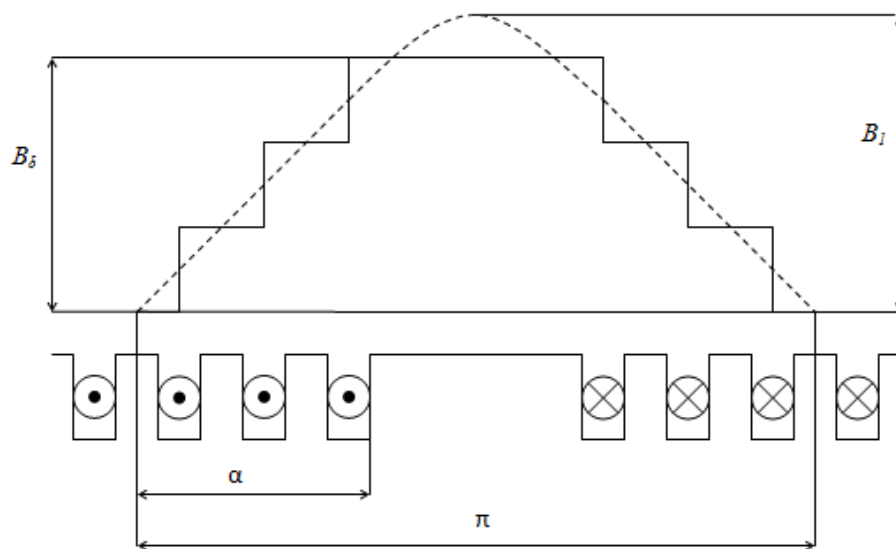
V jednotlivých cívkách rotorového vinutí se indukují podobné napětí, které je vyvolané proudem  $I_b$ . Při počtu drážek na pól a fázi a časovému posunutí je průběh sinusový. Magnetické pole ve vzduchové mezeře má tvar obdélníkový o výšce  $B_\delta$ , které je dáno rovnicí:

$$B_\delta = \frac{\mu_0 N_b I_b}{\delta}. \quad (4.3)$$

Amplituda základní harmonické je pak:

$$B_1 = k \cdot B_\delta \quad (4.4)$$

kde  $k = \frac{4}{\pi} \sin \frac{\alpha \cdot \pi}{2}$ . [7]



Obr. 4.3 Magnetické indukce ve vzduchové mezeře turbogenerátoru[7]

### 4.4 Výrobce

Jeden z největších výrobců turbogenerátoru na světě je firma BRUSH s.r.o. Má pracoviště v České republice, Velké Británii a Nizozemsku.

Hlavním produktem této společnosti jsou dvou pólové turbogenerátory s výkony od 30 do 1111 MVA chlazené, vzduchem vodou a vodíkem. Další produkty této společnosti jsou čtyřpólové turbogenerátory, synchronní motory s výkonem od 10 do 100 MW, ponorné motory, trakční motory, rozvaděče, ochrany generátorů, transformátory do výkonu 60 MVA, nevýbušné transformátory a vysokonapětové přepínače.[2]

Firma nabízí diagnostiku, údržbu, zkoušky, montáže a demontáže generátorů. Zvyšuje výkon již vyrobených generátorů. Vyrábí náhradní díly a statické budicí systémy. Zaškoluje obsluhu.[2]



#### 4.4.1 Parametry generátoru od firmy BRUSH s.r.o.

Dvoupólový generátor vodou a vodíkem chlazený s výkonem od 235 do 1111 MVA. Stator je navržen tak, aby odolal mechanickému namáhání během zkratu nebo výbuchu vodíků. [2]

Izolační systém je navržen tak aby odolal nepřetržitému provozu při teplotách třídy F. Rotor je vyroben z jednoho kusu nikl chrom molybdenové slitiny oceli. Rotorové vinutí je vyrobeno z měděno stříbrné slitiny. Vinutí statoru je chlazeno vodou. Zbytek stroje je chlazen vodíkem. Vodík je poháněn pomocí dvou axiálních ventilátorů namontovaných na hřídeli rotoru. Ohřátý vodík je chlazen ve výměníku tepla vodou. [2]

Tyto druhy generátoru byly vyvezeny do států jako Brazílie, Kuba, Česká republika, Německo, Slovensko, atd. V České republice jsou tyto generátory např. v Jaderné elektrárně Temelín a Dukovany anebo v tepelné elektrárně v Mělníku. [2]

Tabulka 1 Parametry generátoru [2]

Rozsah napětí	15-24 kV
Otáčky	Pro 50 Hz 3000 ot/min
Účinník	0,9
Výstupní rozsah	250 až 1111 MVA
Chlazení	uzavřené obvody vodíku a vody chlazené vodou



Obr. 4.4 Generátor v Jaderné elektrárně Temelín od firmy BRUSH [2]



Obr. 4.5 Stator generátoru v Temelínu [2]



Obr. 4.6 Rotor před opravou [2]



Obr. 4.7 Rotor po opravě [2]

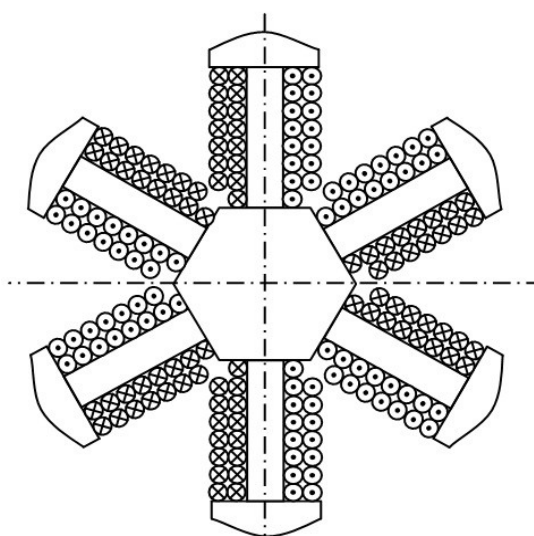
## 5 Hydrogenerátory

Patří do skupiny synchronních generátorů. Vícepólové generátory s vyniklými póly na rotorů. Používají se převážně u vodních elektráren. Nízkootáčkové generátory.

### 5.1 Konstrukce

Rotor je tvořen vyniklými póly (většinou 4 a více), kde každý pól má svou budící cívku, viz obr. 5.1. Budící cívky jsou většinou spojené mezi sebou a dva konce vyvedeny na kroužky, které jsou na hřídeli.[12]

Konstrukce jsou úzké a široké.



Obr. 5.1 Rotor hydrogenerátoru v půdorysu



Obr. 5.2 Strojovna s hydrogenerátory[8]

### 5.2 Frekvence a velikost generovaného napětí

Frekvence a velikost napětí vychází ze stejného vztahu jako u turbogenerátorů.

Hydrogenerátory jsou taky nazývány pomaloběžnými a to je dáno velkým počtem polohových dvojic. Má-li generátor 30 pólových dvojic a požadovaný kmitočet je 50 Hz, tak se bude otáčet 100 ot/min. Je to dáno rovnicí:

$$n_s = \frac{60f}{p}. \quad (5.1)$$

### 5.3 Magnetická indukce ve vzduchové mezeře hydrogenerátoru

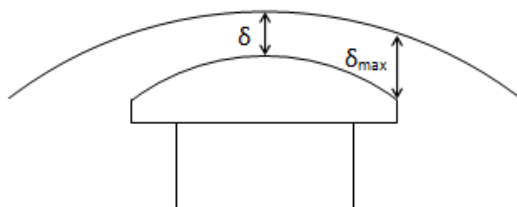
Magnetická indukce ve vzduchové mezeře hydrogenerátoru závisí na tvaru pólového nástavce. Nástavec je tvarován, aby se dosáhlo sinusového napětí. Nejmenší mezera je uprostřed pólového nástavce a postupně se zvětšuje. Dáno rovnicí:

$$\delta_x \approx \frac{\delta}{\cos\left(\frac{x}{\tau_p} \pi\right)}, \quad (5.2)$$

kde  $\delta$  – minimální mezera v ose  
 $\delta_x$  – mezera ve vzdálenosti x od středu osy.

Šířka pólového nástavce je většinou 0,55 až 0,75 pólové rozteče, proto u kraje pólového nástavce je vzduchová mezera o šířce, viz obr. 6.5, maximální vzduchová mezera je dána vztahem:

$$\delta_{max} \approx (1,5 \div 2,6)\delta. [12\ 13] \quad (5.3)$$



Obr. 5.3 Pólový nástavec[7]

## 5.4 Výrobce

Jedním výrobcem synchronních generátorů s vyniklými póly na území České republiky je akciová společnost EXMONT-Energo a.s. Společnost byla založena v roce 1991 se zaměřením na opravy elektrických zařízení. V současné době působí v oborech vodních a parních turbin, elektromotorů a generátorů. Firma spolupracuje s katedrou vodních strojů při VUT Brno. [4]

### 5.4.1 Parametry generátorů vyráběného v EXMONT-Energo a.s.

Vyrábí synchronní stroje o výkonu do 30 000 kW a napětí 10,5 kV. Jeden z nabízených generátorů je s označením SGH-803-10k63 více parametrů v tabulce 2.[4]

Tabulka 2 Parametry generátoru SGH-803-10k63[4]

Napětí:	6300 V
Otáčky:	pro 50 Hz 600 ot/min
Zdánlivý výkon:	3600 kVA
Jmenovitý proud	330 A



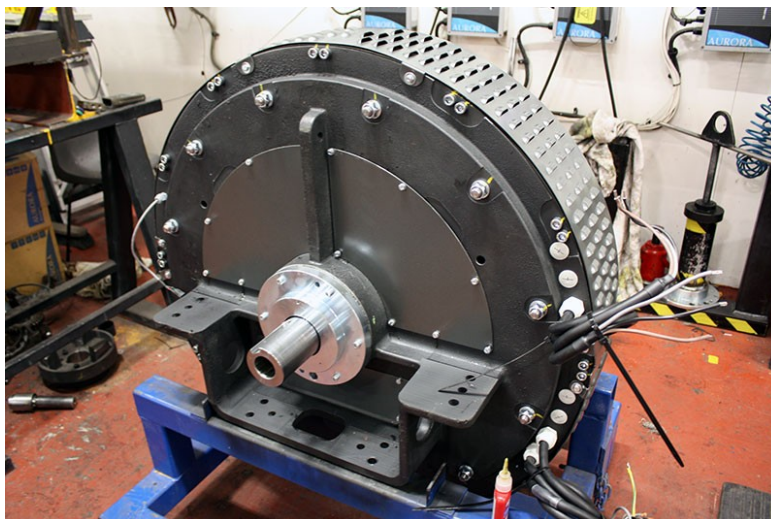
Obr. 5.4 Generátor vyrobený firmou EXMONT[5]



## 6 Axiální generátor s permanentními magnety

Axiální generátor s permanentními magnety se taky nazývá diskový stroj. Mají placatý tvar, viz obr. 6.1

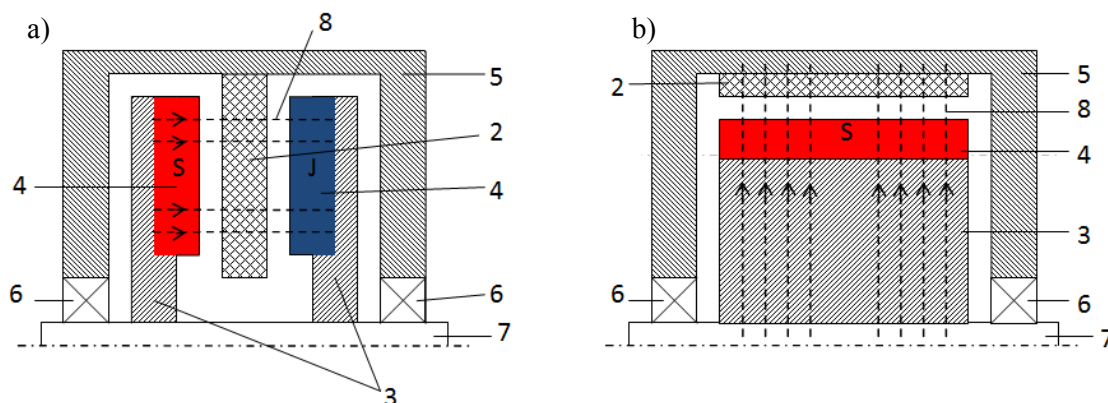
Axiální stroje mohou být jak motory, tak generátory. Vzhledem k jejich velkým průměrům rotoru můžou sloužit jako setrvačnik. Motory se především hodí do elektrických vozidel, ventilátorů odstředivek, obráběcích strojů a robotů. Axiální stroje jsou vyráběné jako malé a střední generátory. Vzhledem velkému počtu pólů to jsou pomaloběžné stroje a vhodné pro větrné elektrárny.[5]



Obr. 6.1 Axiální generátor[3]

### 6.1 Rozdíl mezi axiálními a radiálními elektrickými stroji

Axiální stroje se nazývají, protože využívají magnetický tok, který se přenáší mezi rotorem a statorem ve směru osy otáčení. Na rozdíl od hydrogenerátoru a turbogenerátorů, které pracují s radiálním magnetickým tokem, který je mezi rotorem a statorem přenášen kolmo k ose otáčení, viz obr. 6.2.



Obr. 6.2 Axiální a radiální druh stroje

- a) Stroj s axiálním magnetickým tokem; b) Stroj s radiálním magnetickým tokem  
2 – vinutí statoru; 3 – rotor; 4 – permanentní magnet; 5 – stator; 6 – ložisko; 7 – hřídel;  
8 – magnetický tok

Nové materiály, technika výroby a techniky chlazení, které jsou k dispozici, tak už neumožní dalšího zvýšení hustoty výkonu. Vlastní omezení radiálních strojů jsou tyto omezení:

- velká část rotoru s jádrem kolem hřídele je využíván jako magnetický obvod
- teplo z vinutí statoru je převáděno na jádro statoru a pak do rámu – horší je převod tepla přes vzduchovou mezeru, rotor a hřídel [5]

Tyto omezení jsou spojeny s radiálními elektrickými stroji, a proto se hledali další konstrukce. Axiální stroje jsou kompaktnější a mají vyšší výkonovou hustotu než stroje s radiálním tokem.[5]

Protože průměr vnitřního jádra axiálního stroje je o hodně větší než průměr hřídele, tak můžeme očekávat lepší chlazení. Výhody axiálních strojů oproti radiálním můžeme shrnout takto:

- axiální el. stroje mají větší průměr než délku
- mají rovinou vzduchovou mezeru
- mohou mít nastavitelnou vzduchovou mezeru
- axiálních el. strojů je větší počet druhů a můžou být upraveny tak, aby vyhovovali požadavkům výkonu a momentu
- mají větší počet pólů, díky velkému průměru, a to umožňuje, aby pracoval jako vysoko frekvenční anebo pomaloběžné stroje[5]

## **6.2 Historie axiálních strojů**

Jako první elektrický stroj byl patentován v roce 1831 M. Faradayem, který pracoval s axiálním magnetickým tokem. Potom byly mezi roky 1832 a 1834 patentovány další tři druhy elektrických strojů, které pracovaly s axiálním magnetickým tokem. Při výrobě axiálních strojů se objevili, problémy a to velké magnetické síly mezi statorem a rotorem, obtížným montováním a výrobou, nedodržení stejné vzduchové mezeře anebo kvality permanentních magnetů. Díky rozvoji permanentních magnetů a technologii výroby můžou axiální elektrické stroje hrát důležitou roli. [5]

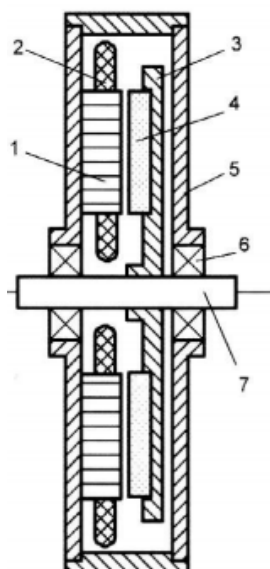
## **6.3 Konstrukce**

Rotor je převážně tvořen permanentními magnety a stator je osazen vinutím. Bezkartáčové axiální elektrické stroje můžou být navrženy jak jednostranné tak oboustranné nebo s vnitřními nebo vnějšími rotory nebo jednofázové a vícefázové stroje. Oboustranné stroje mohou mít externí rotor nebo stator. Elektrický stroj s externím statorem potřebujeme méně permanentních magnetů. Stroje mají hodně konstrukčních provedení a mohou být klasifikovány takto:

- Jednostranné axiální stroje
  - s drážkovaným statorem, viz obr. 6.3
  - bez drážkovaného statoru
  - s vyčnívajícími póly statoru

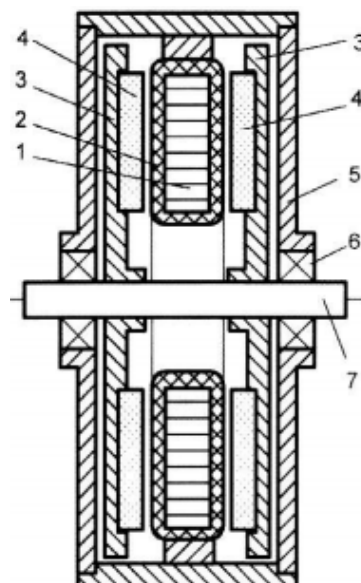


- oboustranné axiální stroje
  - s vnitřním statorem, viz obr. 6.4
    - s drážkovaným statorem
    - bez drážkového statoru
      - s železným jádrem statoru
      - bez železného jádra statoru, viz obr. 6.5
    - s vyčnívajícími póly statoru
  - s vnitřním rotorem
    - s drážkovaným statorem, viz obr. 6.6
    - bez drážkovaného statoru
    - s vyčnívajícími póly statoru, viz obr. 6.7
- více diskové axiální stroje [5]



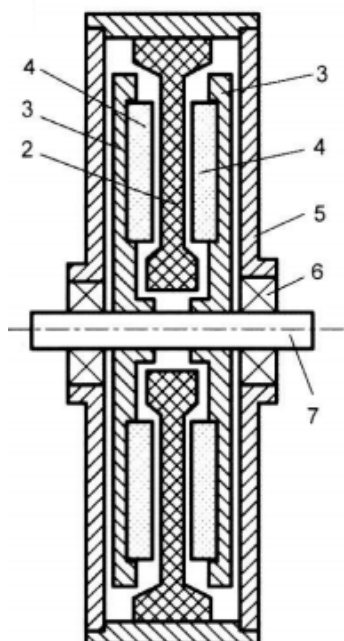
Obr. 6.3 Jednostranný axiální stroj s drážkovaným statorem [5]

1 - jádro statoru; 2 - vinutí statoru;  
3 - rotor; 4 - permanentní magnet;  
5 - rám; 6 – ložisko; 7 – hřídel



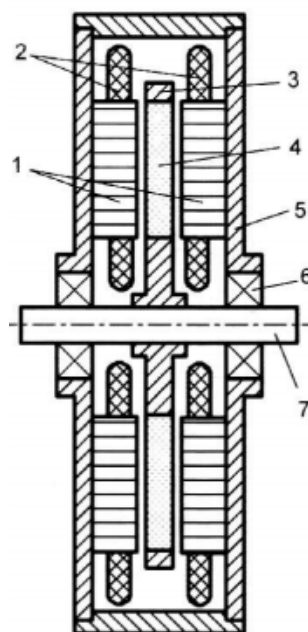
Obr. 6.4 Oboustranný axiální stroj s vnitřním statorem [5]

1 - jádro statoru; 2 - vinutí statoru;  
3 - rotor; 4 - permanentní magnet;  
5 - rám; 6 – ložisko; 7 – hřídel



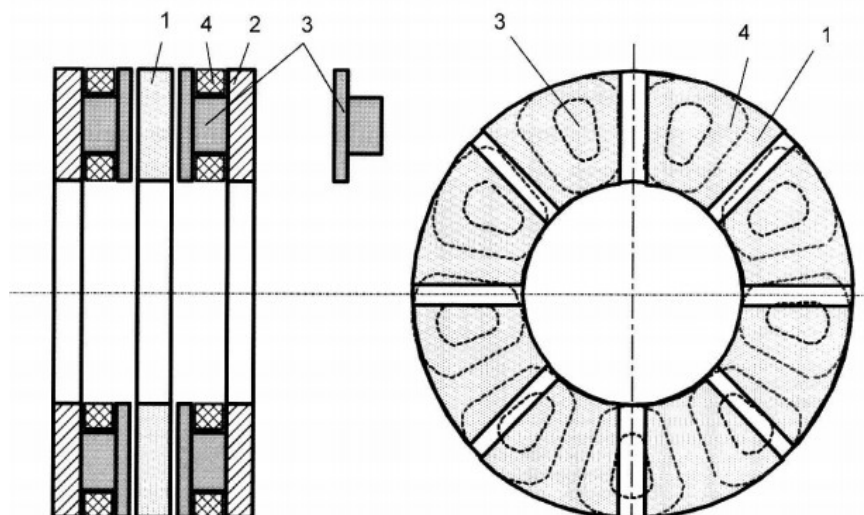
Obr. 6.5 Oboustranný axiální stroj s vnitřním statorem a bez drážkovaného rotoru a bez železného jádra [5]

2 - vinutí statoru;  
3 - rotor; 4 - permanentní magnet;  
5 - rám; 6 – ložisko; 7 – hřídel



Obr. 6.6 Oboustranný axiální stroj s vnitřním rotorem a drážkovaným statorem [5]

1 - jádro statoru; 2 - vinutí statoru;  
3 - rotor; 4 - permanentní magnet;  
5 - rám; 6 – ložisko; 7 - hřídel



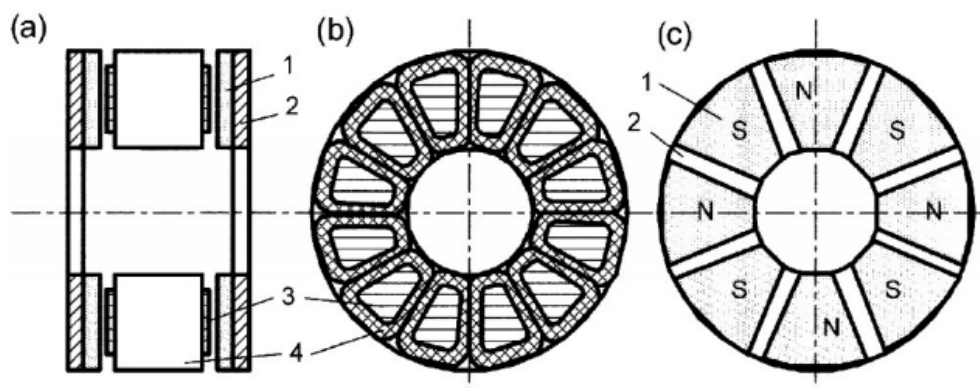
Obr. 6.7 Oboustranný axiální stroj s vyniklými póly na statoru [5]

1 - permanentní magnet; 2 – statorový zadní ferromagnetický kruh; 3 – statorový pól  
4 – statorové vinutí

## 7 Měření na generátoru

### 7.1 Konstrukce měřeného axiálního generátoru

Měření bude probíhat na axiálním generátoru s vnitřním statorem, který je osazen vinutím a oboustranným rotorem, na kterém jsou permanentní magnety, viz obr. 7.1



Obr. 7.1 Axiální generátor s dvojím vnějším rotorem [5]

1 - permanentní magnety; 2 – jádro rotoru; 3 – póly statoru; 4 – vinutí statoru

Magnetický tok  $\Phi$  se u axiálního generátoru s dvojím vnějším rotorem uzavírá přes dvojitou vzduchovou mezeru, která je přibližně 5mm.

Na vnější rotor byla použita ocel. Na každém rotoru je přilepeno 16 NdFeB magnetů. Magnety mají obdélníkový tvar o rozměrech 42x20x5 mm. Na jednom rotoru se střídá polarita magnetů např. S-J-S-J.... Na druhém rotoru je polarita opačná vůči prvnímu, takže se střídá J-S-J-S.... Tím se docílí, že magnetický obvod se uzavírá přes vyniklé póly a zvyšuje výkon a účinnost.

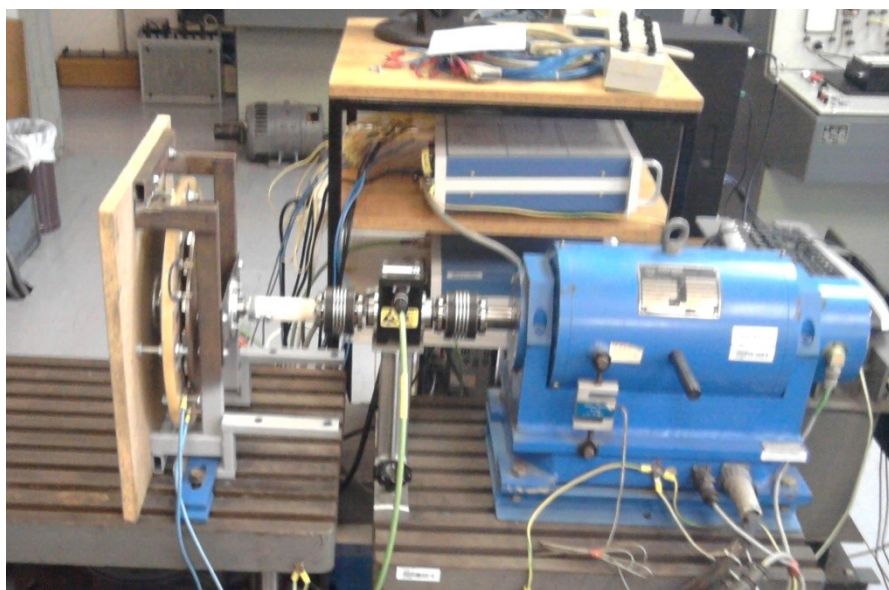
Stator se vkládá mezi dva rotory a je tvořen vzduchovými cívkami, které jsou zalité do epoxidové pryskyřice.

Tabulka 3 Parametry měřeného generátoru

Délka vodiče pod magnetem:	$l_v = 2 \times 0,042\text{m}$
Magnetické indukce ve vzduchové mezeře:	$B_{\max} = 0,32\text{T}$
Průměr rotoru:	$D_R = 242\text{mm}$
Rozměr magnetu:	$L \times W \times T = 42 \times 20 \times 5\text{mm}$
Střední průměr uložení magnetů:	$D_{\text{Rmg}} = 200\text{mm}$
Jmenovité otáčky:	$n = 375\text{ot/min}$

### 7.3 Měřicí pracoviště

Generátor byl poháněn pomocí asynchronního dynamometru typu ASD 5000. Dynamometr byl ovládán z pracovního pultu. Mezi dynamometrem a generátorem byly dvě spojky, mezi kterými byl uložen senzor točivého momentu s otáčkoměrem, který byl je připojen k přístroji Magtrol 6400A, jenž snímal moment a otáčky pomocí senzoru a dopočítával příkon na hřídeli. Vývody z generátoru byly vyvedeny na měřicí přístroj Magtrol 6530, který měřil napětí, proud, výkon a frekvenci. Z měřících přístrojů se přenášely informace do počítače, byly zaznamenány a uloženy programem Magtrol Torque 1.0.



Obr. 7.2 Měřicí pracoviště



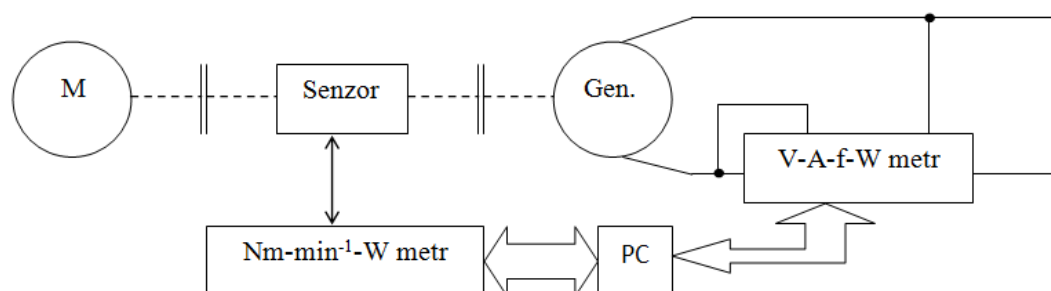
Obr. 7.3 Měřicí přístroje

## 7.4 Měření naprázdno

Charakteristikou naprázdno ověřujeme správnost výpočtu a provedení stroje i použitého materiálu. Měření rovněž slouží pro kontrolu vinutí kotvy nebo budícího vinutí, že nemají závity nakrátko apod. Využití mag. obvodu stroje posuzujeme podle polohy pracovního bodu odpovídajícího jmenovitého napětí. [10]

Měření na generátoru probíhá při rozpojených svorkách. Jelikož generátor používá permanentní magnety, tak nemůžeme regulovat budící proud. Proto se provedlo měření na generátoru, u kterého jsme měnili otáčky a odečítali napětí naprázdno.

### 7.4.1 Schéma zapojení



Obr. 7.4 Schéma měření naprázdno

### 7.4.2 Použité přístroje

Tabulka 4 Použité přístroje – měření naprázdno

Název	Přístroj	Výrobní číslo
U-I-f-P	Magtrol, Power analyzer 6530	6A653185
M-P <sub>p</sub> -n	Magtrol, Display 6400A	4D640124A
Asynchronní dynamometr	ASD 5000	125153
Senzor momentu a otáček	Torquemaster TMB 308/411	
PC	PC	inv.č.26088
2xPosuvný rezistor		
Axiální generátor		

### 7.4.3 Postup měření

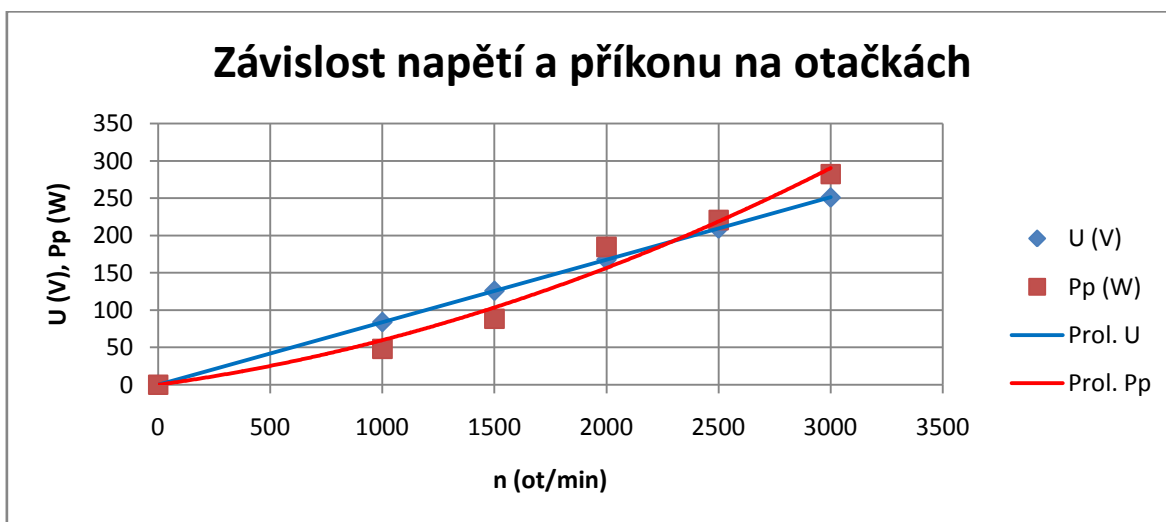
1. Zapojení podle schématu.
2. Roztočení dynamometru a nastavení měřicích přístrojů.
3. Spuštění programu pro měření.
4. Provedeno měření pro hodnoty od 1000 do 3000 otáček.
5. Uložení a zpracování dat.

#### 7.4.4 Naměřené hodnoty

Tabulka 5 Měření naprázdno - hodnoty

n (ot/min)	U <sub>0</sub> (V)	P <sub>p</sub> (W)	f (Hz)
0	0	0	0
1000	83,95	47,88	133,38
1500	125,88	88,22	200,08
2000	167,68	184,49	266,67
2500	209,3	220,5	333,35
3000	250,91	281,88	400,03

#### 7.4.5 Graf



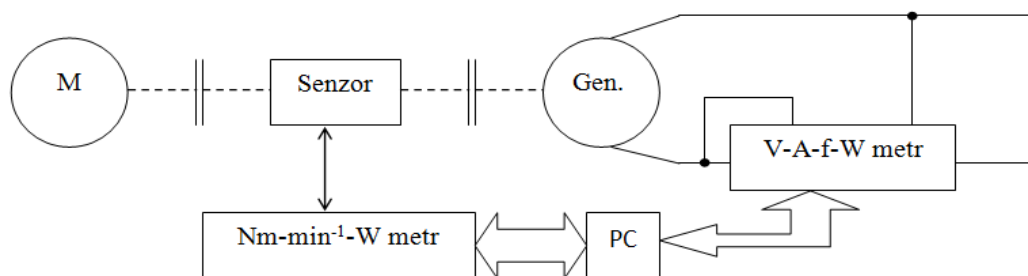
#### 7.4.6 Závěr

Průběh napětí naprázdno má přímkový průběh, jelikož buzení generátorů je pomocí magnetů. Při zvyšování otáček se zvyšovaly ztráty naprázdno  $P_p$  kvadraticky. Příkon naprázdno by měl růst kvadraticky. Musíme brát v úvahu i chyby měření, protože měření nebylo víckrát opakováno.

#### 7.5 Měření nakrátko

Měření nakrátko probíhá při spojených svorkách generátoru. Většinou se dělá závislost proudu na budícím proudu, ale měřený generátor má na rotoru permanentní magnety, tak se určovala závislost proudu na otáčkách. [10]

### 7.5.1 Schéma zapojení



Obr. 7.5 Schéma měření nakrátko

### 7.5.2 Použité přístroje

Tabulka 6 Použité přístroje – měření nakrátko

Název	Přístroj	Výrobní číslo
U-I-f-P	Magtrol, Power analyzer 6530	6A653185
M-P <sub>p</sub> -n	Magtrol, Display 6400A	4D640124A
Asynchronní dynamometr	ASD 5000	125153
Senzor momentu a otáček	Torquemaster TMB 308/411	
PC	PC	inv.č.26088
2xPosuvný rezistor		
Axiální generátor		

### 7.5.3 Postup měření

1. Zapojení podle schématu
2. Nastavení měřících přístrojů
3. Měnil jsem otáčky generátoru a odečítal hodnoty z ampérmetru.

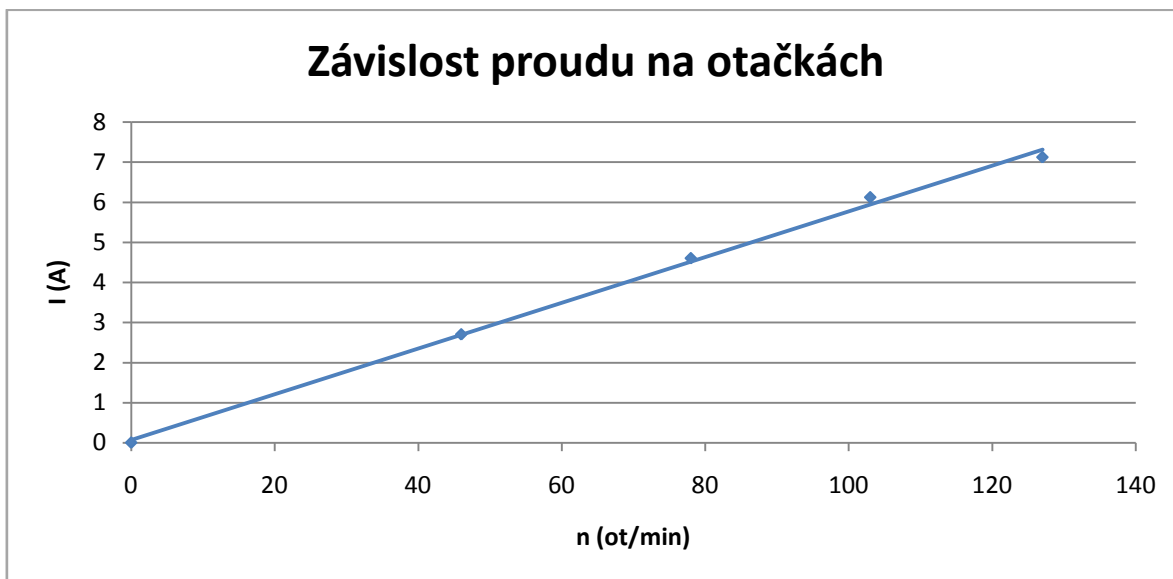
### 7.5.4 Naměřené hodnoty

Tabulka 7 Měření nakrátko - hodnoty

n ot/min	I (A)
0	0
46	2,7
78	4,6
103	6,12
127	7,12



### 7.5.5 Graf



### 7.5.6 Závěr

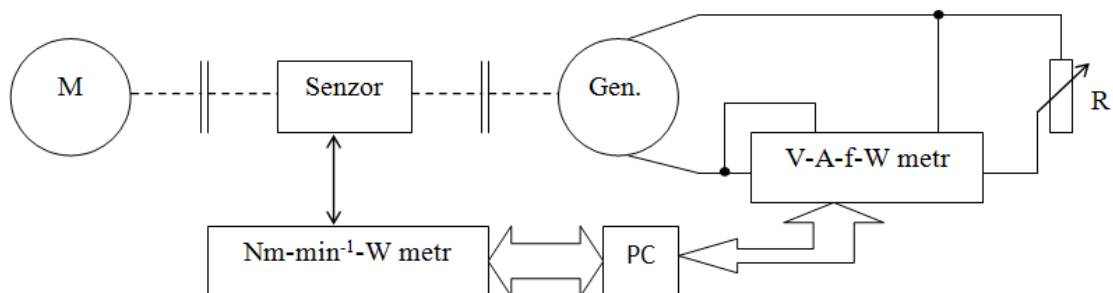
Před měřením nemohl být změřen průměr drátů, tak se nemohlo určit povolené proudové zatížení, aby se cívky nezničily. Cívky byly navrženy na maximální pracovní proud 2,5 A. U měření jsme začínali s nulovými otáčkami a pomalu pokračovali výš. Motor se zatížil na hodnotu proudu 7,12 A, což je o 2,8x víc než je povoleno, kdyby byl déle provozován generátor při této hodnotě proudu, tak by došlo ke zničení cívek. Z grafu je patrné, že proud nakrátko v závislosti na otáčkách má přímkový průběh. V úvahu zas musíme brát to, že měření nebylo víckrát opakováno a musíme počítat s chybami v měření.

## 7.6 Měření zatěžovacích charakteristik

Provedení měření zatěžovacích charakteristik, bylo provedeno hlavně kvůli zjištění účinnosti generátoru. Měří se při konstantních otáčkách a mění se hodnota zatěžovacího rezistoru.

Měření účinnosti ověřujeme výpočet a provedení stroje. U menších generátorů, které mají relativně nízkou účinnost, měříme mechanický příkon a elektrický výkon přímo (odtud také název metody). El. výkon se měří jednoduše a dostatečně přesně el. měřícími přístroji, mechanický příkon měřený dynamometrem a tachodynamem však určují s omezenou přesností (celková chyba je 0,5% až 1,5% a závisí na citlivosti dynamometru). Metody přímého měření účinnosti lze proto používat pouze v případech, kdy velikost účinnosti je taková, že chyby měření mech. příkonu nemají podstatný význam. U velkých strojů, kde je vysoká účinnost, používáme nepřímé určování účinnosti změřením el. výkonu a zjištěním ztrát, což je důležité nejen pro přesnost měření, ale i ohledem na vybavení zkušebny. Způsob popsáný v této kapitole je vhodný pro stroje, u nichž účinnost není větší než 80% až 90%. [10]

### 7.6.1 Schéma zapojení



Obr. 7.6 Schéma měření zatěžovacích charakteristik

### 7.6.2 Použité přístroje

Tabulka 8 Použité přístroje – měření zatěžovacích charakteristik

Název	Přístroj	Výrobní číslo
V-A-f-W metr	Magtrol, Power analyzer 6530	6A653185
Nm-W-min <sup>-1</sup> metr	Magtrol, Display 6400A	4D640124A
Asynchronní dynamometr	ASD 5000	125153
Senzor momentu a otáček	Torquemaster TMB 308/411	
PC	PC	inv.č.26088
2xPosuvný rezistor		
Axiální generátor		

### 7.6.3 Postup měření

1. Zapojení podle schématu
2. Nastavení měřících přístrojů
3. Roztočení generátoru na požadované otáčky
4. Spuštění měřícího programu
5. Průběžné se mění velikost odporu a data se zaznamenávala do programu
6. Uložení a zpracování dat
7. Měření bylo opakováno pro 1000, 1500, 2000, 2500 a 3000 otáček.

#### 7.6.4 Naměřené hodnoty

Tabulka 9 Měření při 1000ot/min

<b>I</b> (A)	<b>U</b> (V)	<b>P</b> (W)	<b>η</b> (-)	<b>f</b> (Hz)	<b>n</b> ot/min	<b>M</b> (Nm)	<b>P<sub>p</sub></b> (W)
0,184	83,727	15,535	0,312	133,769	1003	0,475	49,856
0,330	83,680	27,673	0,469	133,710	1003	0,562	58,993
0,500	83,548	41,753	0,450	133,673	1002	0,885	92,813
0,994	82,877	82,359	0,660	133,421	1001	1,191	124,789
1,498	82,300	123,228	0,717	133,225	1000	1,642	171,952
2,010	81,732	164,193	0,844	132,995	998	1,861	194,446
2,519	81,132	204,333	0,793	132,730	995	2,473	257,750
3,015	80,486	242,595	0,812	132,504	994	2,870	298,740
3,346	80,222	268,308	0,839	132,404	993	3,075	319,759

Tabulka 10 Měření při 1500ot/min

<b>I</b> (A)	<b>U</b> (V)	<b>P</b> (W)	<b>η</b> (-)	<b>f</b> (Hz)	<b>n</b> ot/min	<b>M</b> (Nm)	<b>P<sub>p</sub></b> (W)
0,274	125,389	34,579	0,307	200,369	1503	0,716	112,650
0,500	125,235	62,660	0,428	200,237	1501	0,932	146,510
1,006	124,620	125,320	0,607	200,024	1500	1,314	206,376
1,512	123,993	187,380	0,713	199,794	1498	1,676	262,919
2,014	123,382	248,388	0,745	199,575	1496	2,129	333,529
2,515	122,742	308,548	0,777	199,384	1495	2,537	397,349
3,029	122,075	369,524	0,798	199,104	1493	2,960	462,841
3,710	121,341	449,988	0,837	198,868	1492	3,443	537,736

Tabulka 11 Měření při 2000ot/min

<b>I</b> (A)	<b>U</b> (V)	<b>P</b> (W)	<b>η</b> (-)	<b>f</b> (Hz)	<b>n</b> ot/min	<b>M</b> (Nm)	<b>P<sub>p</sub></b> (W)
0,364	166,953	60,827	0,302	266,705	2000	0,960	201,120
0,514	166,600	85,705	0,380	266,657	2000	1,078	225,670
0,999	166,146	165,730	0,592	266,455	1999	1,337	279,847
1,514	165,728	250,615	0,629	266,609	2000	1,902	398,141
2,002	165,145	330,234	0,681	266,406	1997	2,318	484,656
2,492	164,503	409,482	0,722	266,211	1997	2,713	567,329
3,005	163,854	491,999	0,774	265,940	1994	3,043	635,404
3,261	163,516	532,766	0,800	265,853	1994	3,188	665,676

Tabulka 12 Měření při 2500ot/min

<b>I</b> (A)	<b>U</b> (V)	<b>P</b> (W)	<b>η</b> (-)	<b>f</b> (Hz)	<b>n</b> ot/min	<b>M</b> (Nm)	<b>P<sub>p</sub></b> (W)
0,452	208,310	94,413	0,327	333,432	2500	1,104	289,080
0,502	208,502	104,796	0,353	333,371	2501	1,135	297,201
1,001	207,647	207,540	0,507	333,210	2498	1,564	409,260
1,505	207,190	311,273	0,610	333,237	2499	1,948	509,881
2,003	206,667	413,310	0,706	333,022	2498	2,237	585,282
2,498	205,939	513,664	0,756	332,837	2497	2,599	679,535
3,004	205,364	615,965	0,755	332,660	2495	3,121	815,341
3,267	205,245	669,530	0,791	332,497	2495	3,242	846,921

Tabulka 13 Měření při 3000ot/min

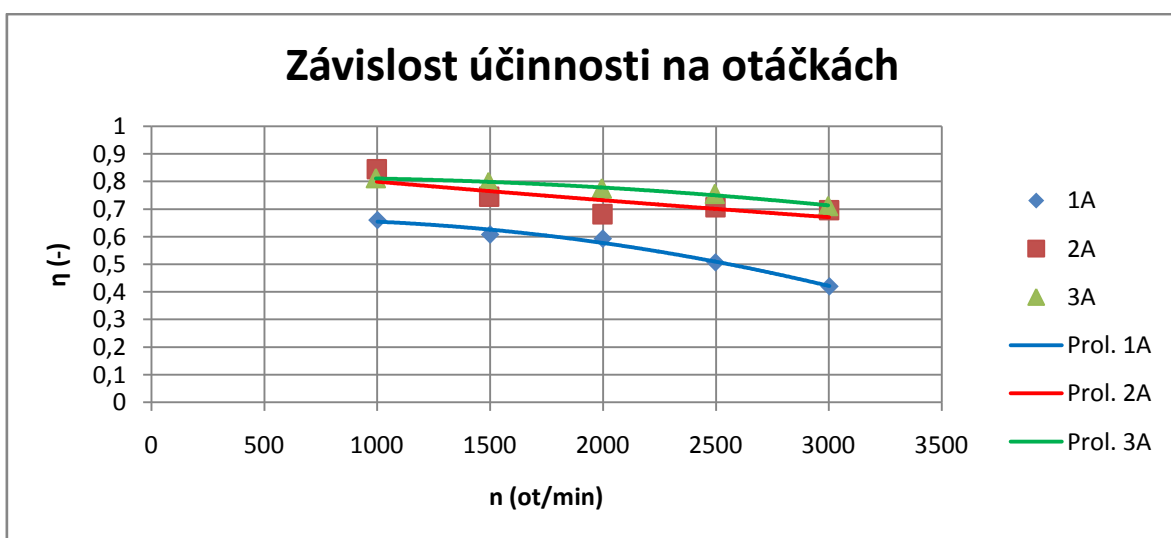
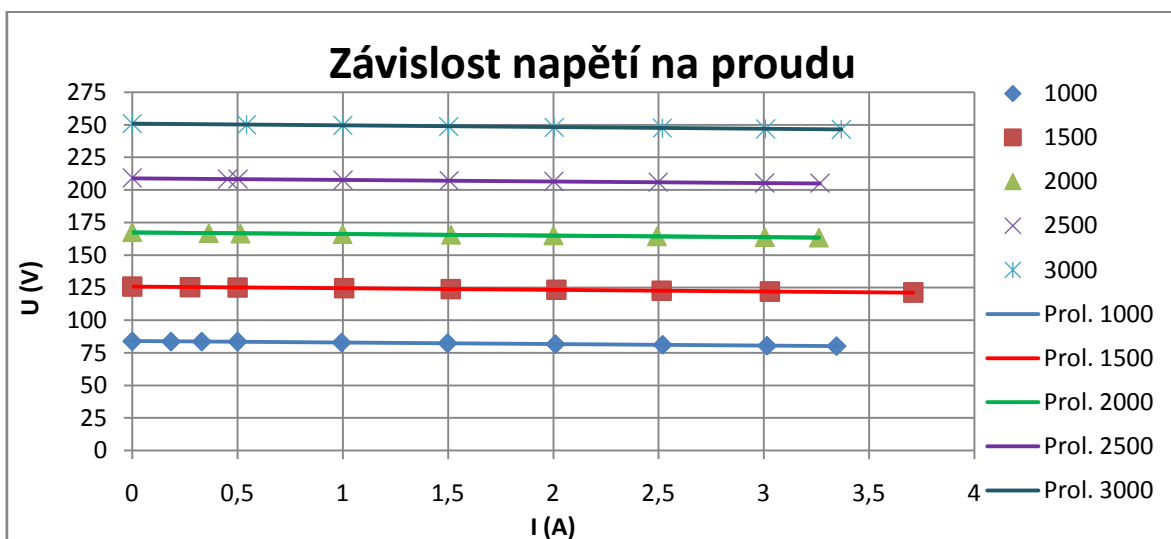
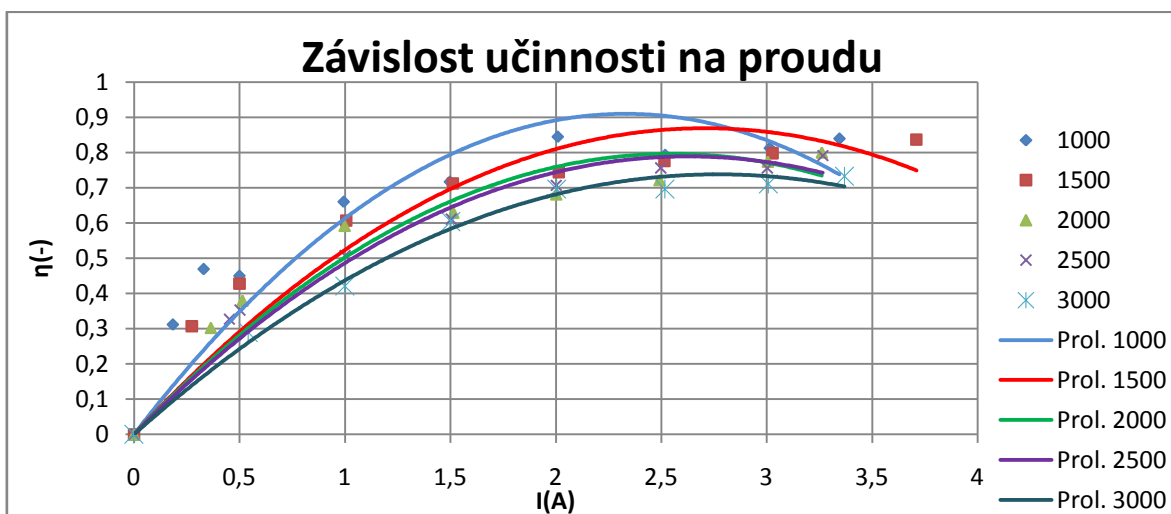
<b>I</b> (A)	<b>U</b> (V)	<b>P</b> (W)	<b>η</b> (-)	<b>f</b> (Hz)	<b>n</b> ot/min	<b>M</b> (Nm)	<b>P<sub>p</sub></b> (W)
0,542	250,082	135,648	0,289	400,184	3001	1,493	468,729
1,000	249,642	249,174	0,420	400,346	3003	1,887	592,864
1,503	248,776	373,039	0,604	400,094	3002	1,966	618,013
2,004	248,084	496,221	0,696	399,875	3001	2,270	713,341
2,518	247,518	622,088	0,696	399,904	2999	2,846	893,854
3,008	246,899	741,442	0,711	399,648	2997	3,324	1043,233
3,369	246,635	829,175	0,732	399,590	2997	3,608	1132,630

### 7.6.5 Příklady výpočtu

Příklad výpočtu pro 3000ot/min a první řádek.

$$\eta = \frac{P}{P_p} = \frac{135,648}{468,729} = 0,289 \quad (7.1)$$

## 7.6.6 Grafy



### 7.6.7 Závěr

Z měřených hodnot jsem udělal 3 grafy a to závislost účinnosti na proudu a konstantních otáčkách, závislost napětí na proudu a konstantních otáčkách a závislost otáček na proudu při konstantních otáčkách a závislost účinnosti na otáčkách a konstantním proudu.

Na charakteristikách účinnosti v závislosti na proudu účinnost roste a potom začne klesat. Generátor může být trvale používán, potom co křivka účinnosti na proudu trochu poklesne. Vezmeme-li v úvahu, že generátor je projektován na maximální povolený proud 2,5 A, tak z grafu je patrné, že můžeme generátor trvale provozovat i při 1000 ot/min. Generované napětí má frekvenci při 1000 ot/min okolo 133 Hz, což je o 2,6x více než průmyslová frekvence 50 Hz. Generátor byl projektován na 375ot/min, takže může být provozován trvale na 1000ot/min. Generátor u svého maximálního dovoleného proudu 2,5A dosahuje vysoké účinnosti od 80% do 90%. Nejvyšší pracovní účinnost je při hodnotě 1000 ot/min a proudu 2,5 A, tehdy účinnost je okolo 90% a výkon generátorů 204,333 W.

V závislosti napětí na proudu můžeme prohlásit, že se jedná o tvrdý zdroj. Pokles napětí při proudu 2,5 A, to je kdy může generátor bezpečně provozovat, o proti hodnotě napětí naprázdno 2-3 V. Pro sestavení grafu jsem použil hodnoty z měření naprázdno.

Je-li konstantní hodnota proudu tak účinnost v závislosti na otáčkách klesá a to je dáno tím, že výkon generátoru má přímkový průběh v závislosti na otáčkách a příkon kvadratický průběh v závislosti na otáčkách.

Na vědomí musíme brát taky, že měření nebylo víckrát opakováno a tím nemůžeme vyloučit odchylky v měření a taky to, že generátor byl konstruován pro 375 ot/min a my v měření začínáme na 1000 ot/min a pokračujeme až do 3000 ot/min. Při vyšších otáčkách začala celá soustava vibrovat, možná by pomohlo lepší ukotvení a bytelnější konstrukce. Během měření se začínaly zahřívát ložiska, což by při delším měření mohlo způsobit přehřátí a zadření. Nepodařilo se nám nastavit nulovou hodnotu proudu, kvůli pozitivním rezistorům. Během měření se nám nepodařilo držet, konstantní otáčky, ale čím byly otáčky vyšší, tím odchylka byla menší. Všemi hodnotami proudu nad 2,5 A se generátor přetěžuje a nadměrně zahřívá.

## 8 Závěr

S rostoucím využitím elektrických generátorů začínají být zkoumané další druhy elektrických generátorů. Oproti klasickým konstrukcím jako jsou turbogenerátorů a hydrogenerátorů se stále rozvíjí další druh elektrických generátorů a to jsou axiální generátory. Axiální generátor byly první elektrické stroje, ale účinnost a použité materiály nebyly tak dokonale, aby se nadále využívaly a byly nahrazeny jinými typy generátorů. S rozvojem technologií výroby a použitých materiálů, především permanentních magnetů, se dostávají axiální stroje zpět na výsluní. Výhodou axiálních generátorů je to, že mají hodně druhů konstrukcí a tím se lépe nakonfiguruje na daný výkon, moment a otáčky.

Byly provedeny tři druhy měření a to naprázdno, nakrátko a zatěžovacích charakteristik. Napětí naprázdno a proud nakrátko mají přímkový průběh, protože na statoru máme permanentní magnety. Dále bylo zjištěno, že generátor může být trvale provozovat při 1000 ot/min, i když byl generátor původně konstruován na 375 ot/min. Je to tvrdý zdroj. Při konstantním proudu klesá účinnost v závislosti na otáčkách. Protože byl generátor konstruován pro 375 ot/min a během měření dosahoval až 3000 ot/min, tak vibroval a zahřívala se mu ložiska.



## 9 Literatura

- [1] AMERICAN HISTORY. *Powering the past: A look back* [online]. Smithsonian institution, ©2002[cit. 2012-11-28]. Dostupné z <http://americanhistory.si.edu/powering/backpast.htm>
- [2] BRUSH SEM. *Brush sem* [online]. Brush sem, ©2012 [cit. 2012-11-23]. Dostupné z <http://www.brush-sem.cz/>
- [3] C & F GREEN ENERGY. *C & F Green energy* [online]. C & F Green energy, ©2013[cit. 2013-01-22]. Dostupné z <http://www.cfgreenenergy.com/>
- [4] DION GENERATOR SOLUTION. *DGS-Dion generator solutions* [online]. DGS, ©2012[cit. 2012-11-24]. Dostupné z <http://www.diongenerators.com/knowledge-is-power/>
- [5] EXMONT. *Exmont* [online]. Exmont, ©2012[cit. 2012-11-24]. Dostupné z <http://www.exmont.cz/>
- [6] GIERAS J. F., WANG R., KAMPER M. J. *Axial flux permanent magnet brushless machine*. The Netherlands: Kluwer academic publisher, 2004, ISBN 1-4020-2720-6
- [7] CHMELÍK Karel. *Asynchronní a synchronní elektrické stroje*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0025-X
- [8] IPS. *Integrated power services* [online]. IPS, ©2012[cit. 2012-11-30]. Dostupné z <http://www.ips.us/>
- [9] KAČOR, Petr. *Vybrané typy elektrických strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2169-6
- [10] MUZEUM STARÝCH STROJŮ A TECHNOLOGIÍ. *Muzeum starých strojů* [online]. Staré stroje, ©2012[cit. 2012-11-30]. Dostupné z <http://www.starestroje.cz>
- [11] PETRÁSEK F. *Elektrické stroje (laboratorní měření)*. Praha:Ediční středisko ČVUT, 1987
- [12] PETROV G. N. *Elektrické stroje 2: Asynchronní stroje - synchronní stroje*. 1. vyd.. Praha: Academia, 1982. Přeložil a doplnil Břetislav Benda.
- [13] ŘÍHA, J. *Elektrické stroje a přístroje*. 1. vyd.. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [14] SULZER. *Sulzer* [online]. Sulzer, ©2012[cit. 2012-11-30]. Dostupné z <http://www.sulzer.com/>
- [15] TECHMANIA. *Techmania* [online]. Techmania, ©2012[cit. 2012-11-28]. Dostupné z <http://www.techmania.cz/>

